

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

# فیزیولوژی تنش در گیاهان

نویسندگان:

دکتر ارشد دتلف شریز

دکتر اروین بک

دکتر کلاسی مولر هوهنستاین

ترجمه:

دکتر علی احمدی

(عضو هیأت علمی دانشگاه تهران)

دکتر امید یونسی

(دکترای فیزیولوژی گیاهی دانشگاه تهران)

دکتر امین نامداری

(دکترای فیزیولوژی گیاهی دانشگاه تهران)



## مرکز انتشارات

### جہاد دانشگاہی واحد صنعتی اصفہان

واحد صنعتی اصفہان

|                     |                                                                                                                                                                                  |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| سرشناسه             | شولز، ارنست-دتلف، ۱۹۴۱ - م. (Ernst-Detlef) Schulze, E.-D.                                                                                                                        |
| عنوان و نام پدیدآور | فیزیولوژی تنفس در گیاهان/ نویسندگان ارنست-دتلف شولز، اروین بک، کلاس مولر-هوہنستاین؛ مترجمین علی احمدی، امید یونسی، امین نامداری. اصفہان: جہاد دانشگاہی، واحد صنعتی اصفہان، ۱۳۹۲. |
| مشخصات نشر          | ۴۸۱ ص.: مصور، جدول، نمودار.                                                                                                                                                      |
| مشخصات ظاہری        | ۹۷۸-۶۰۰-۵۱۵۱-۵۷-۲                                                                                                                                                                |
| شابک                | فیفا                                                                                                                                                                             |
| وضعیت فهرست نویسی   | عنوان اصلی: Pflanzenökologie                                                                                                                                                     |
| یادداشت             | متن اثر اصلی به زبان آلمانی است و کتاب حاضر از متن انگلیسی تحت عنوان "Plant Ecology, 2005" به فارسی برگردانده شده است.                                                           |
| یادداشت             | واژنامه.                                                                                                                                                                         |
| یادداشت             | کتابنامه.                                                                                                                                                                        |
| یادداشت             | نماینه.                                                                                                                                                                          |
| موضوع               | گیاهان -- بوم‌شناسی                                                                                                                                                              |
| شناسه افزوده        | بک، ا.                                                                                                                                                                           |
| شناسه افزوده        | Beck, E.                                                                                                                                                                         |
| شناسه افزوده        | مولر-هوہنستاین، کلاوس                                                                                                                                                            |
| شناسه افزوده        | Müller-Hohenstein, Klaus                                                                                                                                                         |
| شناسه افزوده        | احمدی، علی، ۱۳۴۱ - مترجم                                                                                                                                                         |
| شناسه افزوده        | یونسی، امید، مترجم                                                                                                                                                               |
| شناسه افزوده        | نامداری، امین، مترجم                                                                                                                                                             |
| شناسه افزوده        | جہاد دانشگاہی، واحد صنعتی اصفہان                                                                                                                                                 |
| رده بندی کنگره      | ۶۹۲ ش ۹ ق ۱/۹ QK۹۰۱/۹                                                                                                                                                            |
| رده بندی دیویی      | ۱/۵۲                                                                                                                                                                             |
| شماره کتابشناسی ملی | ۳۲۱۲۵۰۸                                                                                                                                                                          |

|                                                    |                                                 |
|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| نام کتاب                                           | فیزیولوژی تنفس در گیاهان                        |
| تألیف                                              | ارنست-دتلف شولز، اروین بک، کلاس مولر-هوہنستاین  |
| ترجمه                                              | دکتر علی احمدی، دکتر امید یونسی، امین نامداری   |
| ارزیاب علمی                                        | دکتر سیدعلی محمد میرمحمدی فیبدی                 |
| ویراستار علمی                                      | احمد جبروتیان                                   |
| ناشر                                               | جہاد دانشگاہی واحد صنعتی اصفہان - مرکز انتشارات |
| نوبت چاپ                                           | اول                                             |
| تاریخ نشر                                          | ۱۳۹۲                                            |
| شمارگان                                            | ۵۰۰ جلد                                         |
| تعداد صفحات                                        | ۴۸۶                                             |
| قیمت                                               | ۱۹۵۰۰۰ ریال                                     |
| «تغییر قیمت کتاب بدون اجازه کتبی ناشر، مجاز نیست.» |                                                 |

✓ صحت مطالب کتاب به عهده مترجمین بوده و ناشر مسئولیتی در این موضوع ندارد.  
 ✓ حق چاپ برای ناشر محفوظ است. تکثیر این کتاب یا بخشی از آن به هر شکل، شرعی و غیر شرعی، ممنوع بوده و دارای پیگرد قانونی است.

✓ نشانی ناشر: اصفہان - دانشگاه صنعتی اصفہان - جہاد دانشگاہی - مرکز انتشارات: ۳۱۱ ۳۹۱۲۷۱۱  
 فروشگاه: ۳۹۱۲۵۹۴  
 دورنگار: ۳۹۱۲۵۴۱  
 نشانی الکترونیکی: sec.int@acecr.ac.ir  
 درگاه: www.jdiut.ac.ir  
 درگاه: www.isba.ir

مراکز پخش: ۱- کتابفروشی جہاد دانشگاہی (اصفہان) - دانشگاه صنعتی اصفہان - تلفن: ۳۹۱۲۵۹۴  
 ۲- نمایشگاه کتاب جہاد دانشگاہی (تهران) - خیابان انقلاب اسلامی - بین خیابان قسطنطنیه و چهارراه ولی عصر (عج) - جنب مؤسسه نمایشگاههای فرهنگی ایران - تلفن: ۶۶۸۷۶۶۶ - ۳- علی محمد گستر سپاهیان (اصفہان) - خیابان آمانگاه - کوچه فتح آباد - پلاک ۹۰ - تلفن: ۲۲۱۹۹۷۸ - ۴- کتابپیران (تهران) - میدان انقلاب اسلامی - ابتدای خیابان آزادی - خیابان بکر قریب - پلاک ۷ - تلفن: ۶۶۵۶۶۵۱ - ۵- (۲۱-۰)  
 شماره تماس برای خرید تلفنی کتاب از سراسر کشور: ۳۱۱-۳۹۱۲۵۹۴

بسم الله الرحمن الرحيم

سخن ناشر

جای خرسندی و شکر بسیار است که در آستانه تابش پرتوهای حیات بخش اسلام بر پهنه زمین، خود را در زمانی می یابیم که اندیشه اصلاح نه تنها به بحث نیست که پیمودن راههای کمال و رشد در هر بعدی از ابعاد انسانی هرگز تر و شدنی تر می نماید. وظیفه آنان که در این دوره و در این سرزمین مقدس زندگی می کنند بس سنگین و دشوار است و بطور خاص مسئولیت دانشگاه و دانشمندان در کنار حوزه های مقدس علمیه جایگاهی حساس و تعیین کننده در رشد و تکامل اجتماع دارد. تلاش پیگیر و همه جانبه برای بریدن بندهای وابستگی، ایجاد مقدماتی است که باید از دانشگاه و حوزه شروع شود و انتشار کتب علمی از سوی موسسات آموزشی است در راستای آنچه ذکر آن رفت. بدیهی است این کوشش زمانی به نتایج مفید می رسد که بطور مداوم از سوی استادان، دانشگاهیان، اندیشمندان تعهد مورد انتقاد و پیشنهادات سازنده قرار گیرد.

اینک که چاپ اول این کتاب تقدیم دانشگاهیان، ترجمان و مشتاق علم می گردد جای دارد از تمامی عزیزانی که در آماده سازی و تدوین آن تلاش نموده و زحمات زیادی را متحمل شده اند تشکر و قدردانی بعمل آید.

مرکز انتشارات جهاد دانشگاهی

واحد صنعتی اصفهان

## درباره‌ی مترجمین

نام و نام خانوادگی: علی احمدی تاریخ تولد: ۱۳۴۱ پست الکترونیک: [ahmadia@ut.ac.ir](mailto:ahmadia@ut.ac.ir)

### سوابق آموزشی:

کارشناسی: زراعت و اصلاح نباتات. دانشگاه صنعتی اصفهان  
کارشناسی ارشد: زراعت. دانشگاه تهران  
دکتری: فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه لندن انگلستان.

نام و نام خانوادگی: امید یونسی تاریخ تولد: ۵۷/۱۰/۴ پست الکترونیک: [omidyounesi@ut.ac.ir](mailto:omidyounesi@ut.ac.ir)

### سوابق آموزشی:

کارشناسی: زراعت و اصلاح نباتات. دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان  
کارشناسی ارشد: زراعت (گرایش فیزیولوژی گیاهی)، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کشاورزی دانشگاه تهران  
دکتری: زراعت (گرایش فیزیولوژی گیاهی)، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کشاورزی دانشگاه تهران.

نام و نام خانوادگی: امین نامداری تاریخ تولد: ۱۳۶۱/۱۱/۱۱ پست الکترونیک: [namdari@ut.ac.ir](mailto:namdari@ut.ac.ir)

### سوابق تحصیلی

کارشناسی: زراعت و اصلاح نباتات - دانشگاه شهرکرد  
کارشناسی ارشد: فیزیولوژی گیاهان زراعی - دانشگاه تهران - پردیس کشاورزی و منابع طبیعی  
دکتری: فیزیولوژی گیاهان زراعی - دانشگاه تهران - پردیس کشاورزی و منابع طبیعی

## مقدمه مترجمان

تأمین نیاز غذایی جمعیت رو به فزون کره زمین از چالش‌های اساسی پیش روی دست‌اندرکاران علوم کشاورزی می‌باشد. تأمین امنیت غذایی این جمعیت نیازمند افزایش تولید محصولات کشاورزی است. یک راهکار اساسی برای افزایش تولید، مخصوصاً در شرایطی که امکان افزایش سطح زیر کشت وجود ندارد، افزایش عملکرد در واحد سطح یا به عبارت دیگر افزایش پتانسیل تولید است. پتانسیل تولید اگرچه توسط عوامل درونی گیاه تعیین می‌گردد، ولی بر منظر ظهور آن به شدت تحت کنترل عوامل بیرونی یا همان شرایط محیطی می‌باشد.

گیاهان زراعی امروزه با سالیان متمادی عمل انتخاب بشر بر روی اجداد وحشی آنها می‌باشند. از آنجا که عمل انتخاب در شرایط رشدی مطلوب‌تری نسبت به زیستگاه طبیعی آنها صورت گرفته، لذا صفات مزیت‌گرایشی که فرایند انتخاب طبیعی برای سازگاری و رشد این گیاهان در شرایط نامطلوب در اختیار آنها نهاده به تدریج از آنها سلب شده است. به بیان دیگر نتیجه سال‌ها انتخاب و اصلاح گیاهان زراعی در شرایط بهینه رشد، ایجاد گیاهانی پرتولید برای شرایط مطلوب و از طرفی آسیب‌پذیر نسبت به تنش‌های محیطی بوده است.

امروزه تنش‌های محیطی غیر زنده (خشکی، گرما، تابش و...) به دلیل تغییرات عمومی اقلیمی و فعالیت‌های صنعتی مخرب انسانی بر روی زمین به شدت گسترش یافته و عرصه را برای فعالیت‌های کشاورزی بیش از پیش محدود نموده است. چنین شرایط تنش‌زایی بخش عمده‌ای از مناطق کشاورزی کشور را تحت تأثیر خود قرار داده و مانع بروز پتانسیل عملکرد گیاهان زراعی می‌شود. به نظر می‌رسد یک راهکار مبنایی برای دستیابی به عملکرد بالا و پایدار در چنین شرایطی، درک و شناخت مکانیزم‌های فیزیولوژی - پوششی - ژنتیک سازگاری و مقاومت به تنش‌های محیطی و دستورزی و تغییر متابولیسم گیاه در این جهت باشد.

علیرغم این مهم، منابع مرتبط با تنش‌های محیطی و فیزیولوژی مقاومت به تنش در میان متون متنوع علوم کشاورزی در کشور نادر بوده و البته همان منابع نادر نیز از کاستی‌هایی برخوردار هستند. این امر ضرورت تأمین منابع تکمیلی در این زمینه جهت استفاده اساتید، دانشجویان و محققان بخش کشاورزی را روشن می‌نماید. در راستای این ضرورت مترجمین تلاش نموده‌اند از میان منابع متنوع خارجی که در غالب آنها متن کتاب صرفاً به جمع‌آوری خلاصه نتایج تحقیقات مرتبط با تنش پرداخته است، منبعی را انتخاب و ترجمه نمایند که در

آن بیشتر به مبانی و اصول تنش و مکانیزم‌های مقابله گیاهان با آن پرداخته شده و از تصاویر و نمودارها به حد کافی جهت تسهیل درک مطلب استفاده شده باشد.

مترجمان کوشیده‌اند ضمن حفظ اصالت اثر، تا حد امکان مطالب را به زبانی روان و شیوا بیان نمایند اما با وجود تمامی تلاش‌های صورت پذیرفته به طور یقین کتاب حاضر دور از ایراد نواقص نبوده و لذا از اساتید و دانشجویان تقاضا نمودیم با انعکاس این کاستی‌ها زمینه بهبود کیفیت کتاب در ویراست‌های بعدی را فراهم نمایند\*.

در پایان لازم است از زحمات سرکار خانم مهندس یونسی که ما در در ارائه هر چه بهتر نمودارها و تصاویر یاری نمودند و نیز مدیریت محترم انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان که زمینه فراهم جهت چاپ کتاب حاضر را فراهم ساختند سپاسگزاری نمایم.

علی احمدی

امید یونسی

امین نامداری

## فهرست

### صفحه

### عنوان

|     |                                                                 |
|-----|-----------------------------------------------------------------|
| ۱   | فصل اول: مقدمه به عنوان یک عامل تنش زا: فیزیولوژی تنش در گیاهان |
| ۱-۱ | ۱-۱-۱- فاکتورهای محیطی زندگی و غیره که موجب تنش می شوند         |
| ۲   | ۱-۱-۲- واکنش های تخصصی و غیر تخصصی به تنش                       |
| ۶   | ۱-۳- مفاهیم تنش                                                 |
| ۷   | ۱-۴- درک تنش و ایجاد سیگنال ها                                  |
| ۱۴  | ۱-۵- چگونه تنش وارده به گیاهان اندازه گیری می شود               |
| ۱۶  | ۱-۶- تولید گیاهان متحمل به تنش با مهندسی ژنتیک                  |
| ۲۲  | ۱-۷- خاموشی ژن                                                  |
| ۲۴  |                                                                 |
| ۲۹  | فصل دوم: تابش                                                   |
| ۳۰  | ۲-۱- نور مرئی                                                   |
| ۳۰  | ۲-۱-۱- سازگاری های ریخت شناسی و ساختاری                         |
| ۳۶  | ۲-۱-۲- سازگاری فراساختاری                                       |
|     | ۲-۱-۳- سازگاری فیزیولوژیکی                                      |
| ۵۲  | ۲-۲- نور فرابنفش                                                |
| ۵۵  | ۲-۲-۱- آسیب ناشی از UV-B و ترمیم آن                             |
| ۵۷  | ۲-۲-۲- درک UV-B                                                 |
| ۵۹  | ۲-۲-۳- اجتناب از تابش UV-B و گسترش مقاومت به UV-B               |

- فصل سوم: درجه حرارت ..... ۶۹
- ۱-۳- محدوده تغییرات درجه حرارت و درجه حرارت‌های محدود کننده حیات ..... ۷۰
- ۲-۳- وابستگی حرارتی فرایندهای بیوشیمیایی،  $Q_{10}$  و انرژی فعال‌سازی ..... ۷۶
- ۳-۳- درجه حرارت و ثبات / کارکرد غشاءهای زیستی ..... ۷۷
- ۱-۳-۳- اثر درجه حرارت بر ترکیب لیبیدی غشاءهای زیستی ..... ۷۷
- ۴-۳- سرما (ایست) ..... ۷۹
- ۱-۴-۲- سرما: متابولیسم و رشد ..... ۷۹
- ۱-۳-۳- شوک گرمایی ..... ۸۰
- ۳-۴-۳- اجتناب از تنش ..... ۹۸
- ۴-۴-۳- مقاومت‌سازی ..... ۹۸
- ۵-۳- سرما ..... ۱۰۱
- ۱-۵-۳- تنش ناشی از سرمای، اثر از نقطه انجماد (سرمازدگی) ..... ۱۰۳
- ۲-۵-۳- برهم خوردن توازن (وابستگی فعالیت‌های متابولیکی توسط سرما ..... ۱۰۸
- ۳-۵-۳- برهم خوردن توازن متابولیکی غالباً منجر به تنش اکسیداتیو می‌گردد ..... ۱۱۴
- ۴-۵-۳- سیستم‌های ترمیمی، آسیب‌های وارده به غشاءهای زیستی، اسید نوکلئیک و پروتئین‌ها را ترمیم می‌کند ..... ۱۱۹
- ۶-۳- یخبندان ..... ۱۲۰
- ۱-۶-۳- درجه حرارت‌های یخ‌زدگی و غشاءهای زیستی ..... ۱۲۰
- ۲-۶-۳- تشکیل برون و درون سلولی یخ ..... ۱۲۵
- ۳-۶-۳- هسته‌زایی نامتجانس، مثالی از باکتری‌های INA ..... ۱۲۶
- ۴-۶-۳- چه میزان آب در بافت‌های مقاوم به یخ‌زدگی به یخ تبدیل می‌شود ..... ۱۳۱
- ۵-۶-۳- پروتئین‌های ضد یخ‌زدگی ..... ۱۴۲
- ۶-۶-۳- حفاظت از غشاءهای زیستی و تحمل به یخ‌زدگی ..... ۱۴۴
- ۷-۶-۳- اجتناب از یخ‌زدگی ..... ۱۵۰

- ۳-۶-۸- تحمل فصلی به یخزدگی ..... ۱۵۶
- ۳-۶-۹- مقاوم شدن به یخندان موجب کاهش کارایی می شود ..... ۱۵۸
- ۳-۶-۱۰- استرس ثانویه: خشکی ناشی از یخندان ..... ۱۵۹
- ۳-۶-۱۱- نظرات نهایی ..... ۱۶۰

- فصل چهارم: کمبود اکسیژن (بی هوازی و کم هوازی) ..... ۱۷۵
- ۴-۱- متابولیسم انرژی گیاهان در شرایط کمبود اکسیژن ..... ۱۸۰
- ۴-۱-۱- بیان کلیات بی هوازی و حوازه زنی تحت شرایط هایپو کسیا ..... ۱۸۲
- ۴-۱-۲- تغییرات متابولیسم تحت شرایط هایپو کسیا ..... ۱۸۳
- ۴-۱-۳- پلی پتید غیر پروتئینی ..... ۱۸۴
- ۴-۲- تغییرات آناتومیکی - مورفولوژیکی ناشی از هایپو کسیا ..... ۱۸۸
- ۴-۲-۱- طول شدن میانگروه ها ..... ۱۸۸
- ۴-۲-۲- تشکیل آنراشیم ..... ۱۹۰
- ۴-۳- تنش پس از شرایط آنو کسیا ..... ۲۰۳

- فصل پنجم: کمبود آب (خشکی) ..... ۲۰۹
- ۵-۱- تعادل آبی سلول هایی که دچار تنش خشکی شده اند ..... ۲۱۳
- ۵-۲- واکنش های سلولی به تنش خشکی ..... ۲۱۸
- ۵-۲-۱- درک تنش پسایدگی ..... ۲۱۹
- ۵-۲-۲- پاسخ به تنش توسط اسید آسبیزیک و واسطت می شود ..... ۲۲۰
- ۵-۲-۳- فعال سازی ژن مستقل از اسید آسبیزیک توسط خشکی ..... ۲۲۹
- ۵-۲-۴- انتقال سیگنال ..... ۲۳۰
- ۵-۲-۵- عملکرد پروتئین هایی که توسط تنش پسایدگی القا می شود ..... ۲۳۱
- ۵-۲-۶- تجمع اسمولیت ها (مواد محلول سازگار) در طی خشکی ..... ۲۳۵
- ۵-۳- CAM (متابولیسم اسید کراسولاسه) ..... ۲۴۲

- ۲۴۵ ..... ۱-۳-۵- انعطاف پذیری CAM
- ۲۴۷ ..... ۲-۳-۵- مسائل حل نشده در خصوص تنظیم بیوشیمی CAM
- ۲۵۱ ..... ۴-۵- سازگاری آناتومیکی و مورفولوژیکی به خشکی

- ۲۶۱ ..... فصل ششم: تنش شوری (تنش اسمزی)
- ۲۶۴ ..... ۱-۶- اثرهای فیزیولوژیک تنش شوری
- ۲۶۴ ..... ۱-۶-۱- تنش شوری بر متابولیسم یونها در سلول (اثر اولیه)
- ۲۶۸ ..... ۶-۱-۲- آسیب‌های ثانویه ناشی از تنش شدید شوری
- ۲۶۹ ..... ۶-۲-۱- واکنش‌های برگارک به سلول گیاهی به تنش شوری
- ۲۷۰ ..... ۶-۲-۲- انتقال ی درون سلولی
- ۲۷۴ ..... ۶-۲-۲- واکنش‌های برگارک به منظور بازیابی هموستازی یونی
- ۲۷۵ ..... ۶-۲-۳- سازگاری پتانسیل اسمزی
- ۲۹۶ ..... ۶-۲-۴- القای پروتئین‌های مناسی با تنش شوری
- ۳۰۶ ..... ۶-۳- اجتناب از شوری

- ۳۱۹ ..... فصل هفتم: فلزات سنگین
- ۳۲۲ ..... ۷-۱- قابلیت دسترسی فلزات سنگین
- ۳۲۳ ..... ۷-۲- کمبود فلزات سنگین - مثال آهن
- ۳۲۳ ..... ۷-۲-۱- جذب فلزات سنگین
- ۳۲۸ ..... ۷-۲-۲- عواقب فیزیولوژیک ناشی از کمبود آهن
- ۳۳۲ ..... ۷-۳- تنش ناشی از سمیت فلزات سنگین
- ۳۳۱ ..... ۷-۳-۱- مس
- ۳۳۵ ..... ۷-۳-۲- کادمیم
- ۳۴۰ ..... ۷-۴- واکنش گیاهان به فراوانی بیش از حد فلزات سنگین
- ۳۴۰ ..... ۷-۴-۱- پلی‌پپتیدهای القاء شده بوسیله فلزات سنگین

|     |                                                                                        |
|-----|----------------------------------------------------------------------------------------|
| ۳۴۸ | ۲-۴-۷- پاسخ سلولی به تنش فلزات سنگین: برای مثال کادمیم                                 |
| ۳۴۸ | ۵-۷- تحمل فلزات سنگین                                                                  |
| ۳۵۰ | ۶-۷- استخراج فلزات سنگین و رفع آلودگی خاک بوسیله گیاهان (معدن کاوی گیاهی، گیاه پالائی) |
| ۳۵۱ | ۱-۶- گیاه پالائی                                                                       |
| ۳۶۱ | فصل هشتم: آلومینیم                                                                     |
| ۳۶۲ | ۱-۸- رم‌های آلومینیم موجود در گیاهان                                                   |
| ۳۶۳ | ۲-۸- سمیت آلومینیم                                                                     |
| ۳۶۳ | ۱-۲-۸- جذب آلومینیم                                                                    |
| ۳۶۵ | ۲-۲-۸- پیامدهای (معدن کاوی) سمیت آلومینیم                                              |
| ۳۶۶ | ۳-۲-۸- مسمومیت سمپاشی آلومینیم                                                         |
| ۳۷۱ | ۳-۸- مقاومت به $Al^{3+}$                                                               |
| ۳۷۲ | ۱-۳-۸- جلوگیری از جذب $Al^{3+}$                                                        |
| ۳۷۴ | ۲-۳-۸- اهمیت آپوپلاست در مقاومت به $Al^{3+}$                                           |
| ۳۷۵ | ۳-۳-۸- جلوگیری از جذب $Al^{3+}$ با قلیایی نمودن و سولفور                               |
| ۳۷۶ | ۴-۸- تحمل $Al^{3+}$                                                                    |
| ۳۸۳ | فصل نهم: زئونیوتیک‌ها                                                                  |
| ۳۸۸ | ۱-۹- علف کش‌ها                                                                         |
| ۳۸۹ | ۱-۱-۹- نحوه عمل علف کش‌ها                                                              |
| ۳۹۰ | ۲-۱-۹- چهار گام سم‌زدایی زئونیوتیک‌ها بوسیله گیاهان                                    |
| ۳۹۵ | ۳-۱-۹- مواد ایمن شیمیایی                                                               |
| ۳۹۷ | ۲-۹- آلاینده‌های گازی هوا                                                              |
| ۳۹۹ | ۱-۲-۹- دی‌اکسید سولفور                                                                 |
| ۴۱۲ | ۲-۲-۹- اوزون                                                                           |

۴۲۷ ..... فرم آلدئید ۳-۲-۹

۴۳۷ ..... فصل دهم: تنش زنده: گیاه خواری، عفونت و دگرآسیبی

۴۳۸ ..... ۱-۱- گیاه خواری

۴۳۹ ..... ۱-۱-۱- زنجیره پیام‌رسانی

۴۴۵ ..... ۱-۱-۲- پروتئین‌های القا شده بوسیله جاسمونات (JIPها)

۴۴۹ ..... ۱-۱-۱- متابولسم ثانویه القا شده به وسیله جاسمونات

۴۵۴ ..... ۱-۱-۲- هجوم حشرات و دفاع در برابر آن

۴۵۶ ..... ۱-۱-۱- آنتی‌فشارچ‌ها

۴۵۶ ..... ۱-۱-۲- دفاع القا شده

۴۶۱ ..... ۱-۲-۳- مقاومت اکسیداتی سیستمیک

۴۶۲ ..... ۱-۳- آللوپاتی

۴۷۷ ..... واژده نامه

۴۷۱ ..... نمایه